快速腐熟堆肥製作之研究

黃啓民、陳文崇、張順榮、李松伍、王隆輝
台灣糖業研究所

摘　　要

純豬糞渣以送風醱酵，三十天內即可被製成腐熟無臭味之有機肥。紙漿廠污泥，以傳統方法醱酵，分解緩慢，即使添加尿素或豬糞渣等，腐熟時間，長達六個月以上，但將污泥與豬糞渣以1:1混合，送風醱酵，約三個月即可製成腐熟之糞渣污泥有機肥。純蔗渣由於含大量纖維素及木質素，不易分解，以送風方式醱酵，仍需8～12個月始能腐熟，將酒精廢醪及豬糞渣等與蔗渣混合醱酵，腐熟時間可再縮短爲4～5個月。但蔗渣於田間直接堆肥化，仍是糖廠最經濟可行的蔗渣處理模式。

關鍵字：蔗渣、腐熟

前　　言

豬糞尿固形物，蔗渣，濾泥及紙漿污泥等事業廢棄物，如未經適當處理，不但堆積佔空間，且因醱酵產生酸臭味，污染環境，造成事業的危機，如能將這類廢棄物堆肥化，製成腐熟無污染之堆肥，施用於蔗田，不僅可解決廢棄物的出路問題，且可改善土壤之物理性質，增加蔗作產量，其中蔗渣及濾泥等來自蔗田，經堆肥化後，回歸蔗田，十分自然。但各類廢棄物數量龐大，需探研快速腐熟良方，才能達到現場實際應用之目標。

送風確可加速堆積材料之腐熟[1]，豬糞渣經送風處理，三十天內即可被製成腐熟堆肥[3]，送風醱酵期間，不但臭味產生量少[4]，且產生之高溫，可消滅病原菌及雜草種子。蔗渣主要成分爲纖維素及木質素[2]，不易分解，且其氮磷含量低，需添加其他含氮磷量高之材料，方能加速其堆肥化。而控制溫度及材料之水分含量亦能提高堆肥化速率[6]。又接種分解效率高之特定菌株，雖可加速分解速率，但營造一個有利微生物生長的環境，更能加速堆肥化的進行[5]。

試驗材料及方法

一、　模擬送風堆肥化試驗

將糖廠及畜殖場所生產的各類廢棄物，如蔗渣、豬糞渣、及紙漿廠污泥等置於體積120公升之模擬送風堆肥房內送風醱酵，以空氣壓縮機及微調流量控制閥等供給及控制氣體之流量，送風量爲0.025 vvm，將三支長60公分之溫度計，分別置於堆肥材料15，30及45公分處，每天測定其溫度，堆肥腐熟後，取樣分析其各項成份。

二、　紙漿污泥之傳統堆肥化試驗

於屏東紙漿廠之堆積場內進行試驗，污泥每堆之尺寸爲長2公尺，寬1.5公尺及高1.2公尺，體積3.6立方公尺，共分爲四處理，皆不送風，處理A爲對照，處理B爲覆蓋塑膠

布，處理C爲覆蓋及添加0.3%氮，所用之無機氮爲尿素，處理D爲覆蓋及添加0.3%氮，所用之氮肥爲濃豬糞尿液，試驗期間爲6個月，期間共翻堆兩次。

三、 大型送風堆肥化試驗

於南州糖廠之構內畜殖場建造長5.2公尺，寬2.2公尺及高1.2公尺，體積約14立方公尺之送風堆肥房三座。底部有三條長5公尺之送風管，各送風管有兩排送風口，每排72個，管口向下，鼓風機產生之風由底部管路送出，送風量爲0.013 vvm，將豬糞渣，污泥，蔗渣等材料單獨或依不同比例混合，置於堆肥房中送風醱酵，每天記錄溫度之變化，最後分析堆肥成品之成分。

四、 污泥堆肥之生物試驗

以送風醱酵生產之污泥堆肥爲介質，進行育苗及毒害試驗，試驗分爲三處理，處理A爲純糞渣堆肥，處理B爲污泥混合糞渣之腐熟堆肥，處理C爲純污泥堆肥，各處理之介質，不混合土壤及化學肥料，以純堆肥爲介質材料，分別填入500立方公分圓柱形育苗杯內，進行木瓜及絲瓜育苗試驗，各處理六重複。

結果與討論

一、 送風對豬糞渣醱酵之影響

豬糞尿經固液分後之固形物，堆積於模擬送風堆肥房內，經送風處理後之第二天，溫度立刻上升至70℃以上(圖一)且可維持於50～70℃間達二星期以上。送風處理後第四天，表面即可發現白色菌絲。腐熟後，內部材料最後呈黑褐色，由於是好氣醱酵，分解完全，故無臭氣逸出，經17天處理，體積約減少了30%。翻動時，有許多眞菌孢子飛揚。醱酵分解期間有水分產生，如無適當排水處理，將對下層材料之分解有不良影響。反觀未通氣之對照處理，溫度未能超過60℃，且均維持於40～50℃之間。上層材料因可從空氣中獲取氧氣，分解效果佳，故其溫度高於中下層，檢視下層材料，發現大部份仍未分解，更因缺氧呈厭氣醱酵，而散發出難聞之臭味。送風處理豬糞渣，可於一個月內製得腐熟有機肥，較之傳統未通風處理糞渣堆積二個月以上，尙未醱酵完全，送風處理確可加速糞渣之腐熟。經送風醱酵後之豬糞渣堆肥(表一)，其碳氮比已降至12，而各要素成分皆因濃縮而升高，其全氮、磷酐及氧化鉀之含量分別爲3.2，3.1及0.4%。重金屬含量，以銅鋅含量較高，分別爲217及454 ppm，但與市售之有機肥料相較，仍屬合理，未來應減少飼料中之硫酸銅及硫酸鋅用量，如此，堆肥中之銅鋅含量，當可再降低。

二、 紙漿污泥之堆肥化

以紙漿污泥爲堆積材料，添加尿素或豬糞尿，以傳統不送風堆積法製造有機肥，結果如圖二，各處理之醱酵溫度均低，雖自第12週開始，醱酵溫度略有上升。但加入尿素，豬糞尿或覆蓋等處理之效應，均不明顯，此法之分解速率緩慢，有機肥製作所需之時間，長達半年。究其原因可能爲紙漿污泥含氮量低，故微生物活動不旺盛，又以傳統堆積方式進行醱酵，材料外部雖呈喜氣醱酵，但內部則因缺氧而呈厭氣狀態，有機物常

因分解不完全，而產生具臭味之氣體逸散，故此法無法將紙漿污泥迅速製成腐熟有機肥。

利用模擬送風堆肥房，探究污泥與糞渣不同容積比之醱酵溫度變化，結果如表二，純豬糞處理之醱酵溫度最高，而比值1:2之處理，溫度可維持於50～70℃間達三週之久。比值2:1之處理，其醱酵分解速率較慢，僅有一週之溫度可達50℃以上。純污泥之堆積，分解速率更慢，故合理之污泥與糞渣容積混合比， 應界於0.5與2之間。

今將紙漿污泥與豬糞渣，以容積比1:1混合，置於十四立方公尺之大型送風堆肥房內進行醱酵，結果如圖三，加入糞渣增加氮磷量之處理，其醱酵溫度維持於60℃以上，達五星期以上，經堆積送風處理8週後，其材料體積已減少45%，約三個月即可製成腐熟之糞渣污泥有機肥，與純紙漿污泥以傳統堆積法醱酵，需半年以上才能腐熟相較，此法確可縮短紙漿污泥之腐熟時間。所製成之有機肥成份分析如表三，糞渣污泥有機肥之氮、磷、鉀三要素含量及其他微量元素均優於純污泥有機肥，其碳氮比又較純豬糞渣有機肥高，故堆肥之品質有顯著的改善，將來可望利用豬糞渣，濾泥，紙漿污泥，及蔗渣等廢棄物，依不同比例混合，送風醱酵，製成多種不同碳氮比之有機肥，供栽培作物選用。

又將此有機肥用來培育木瓜及絲瓜苗，結果如表四所示，污泥混合豬糞渣之有機肥，木瓜苗生育情況最佳，優於純糞渣堆肥及污泥堆肥，分別達1%及5%顯著水準。對絲瓜苗生育而言，污泥混合豬糞渣堆肥與純糞渣堆肥處理，無顯著差異，但此二處理之絲瓜苗生育皆優於純污泥堆肥處理，達1%顯著差異。

三、 蔗渣之送風堆肥化

蔗渣水分含量變異頗大，新鮮蔗渣含水量可達46%，而堆積場之壓塊蔗渣含水量僅爲11%，其主要成分爲纖維素，木質素及重合五碳醣。將散裝新鮮蔗渣於模擬送風堆肥房中，送風醱酵，送風量爲0.025 vvm，其醱酵溫度可達45℃，最高可比氣溫高12℃，經8～12個月，可醱酵成爲黑褐色腐熟之有機肥。蔗渣堆肥化成份之變化如表五。碳氮比從堆肥化前之105降至堆肥化後之21，有機質含量亦從91%降至58%；腐熟堆肥之氮、磷及鉀之含量亦因體積減少而濃縮了，分別爲T-N: 1.22%，P_2O_4: 0.25%，K_2O: 0.49%。

將蔗渣與糖廠廢棄物如酒精廢醪，濾泥，污泥及豬糞渣等，依1:1的比例混合，送風醱酵，結果發現，豬糞渣，酒精廢醪及濾泥等確可加速蔗渣之堆肥化，其於120公升之模擬送風堆肥房中，溫度已可達55℃，而於14立方公尺之送風堆肥房中，蔗渣混合豬糞渣之處理，醱酵溫度(圖四)在50℃以上，持續六週之久，且最高溫達82℃。經十一週之醱酵，堆積材料之高度已有顯著之變化(圖五)，蔗渣混合豬糞渣之處理，堆積材料高度從120公分降爲50公分，材料體積約減少58%，材料顏色變爲黑褐色，而純蔗渣混合氮磷化肥之處理，堆積材料高度從120公分減爲90公分，其體積約減少了25%，材料頻色則呈灰黃褐色，如此經4～5個月之送風處理，即可製成腐熟之堆肥。

由模擬送風堆肥房及大型送風堆肥房試驗結果可知，將純蔗渣或蔗渣混以豬糞渣，酒精廢醪或濾泥等，皆可將蔗渣製成腐熟有機肥，但由於蔗渣含大量纖維素及木質素

等，分解緩慢，而糖廠開工期間，每天生產之蔗渣量，十分龐大，除充當燃料用外，尚有大量蔗渣節餘，等待處理。如以送風堆肥化的方式處理，除需建造大量送風堆肥房外，時間上實緩不濟急。較經濟可行的方法，應是"蔗渣田間堆肥化"，此方法就是將糖廠生產之散裝蔗渣，不經壓塊，立即運送至休閒蔗田犁入土壤後，種植綠肥，如此約一年內，蔗渣可腐熟爲有機肥，如欲立刻種植甘蔗等作物，需於基肥及追肥中多補充些氮肥，以彌補因微生物增殖所固定之氮量。施用蔗渣後宜種綠肥，一方面可供應氮素，另方面可作爲判斷土壤狀況之指標。蔗渣來自蔗田，再適當地回歸蔗田，以增加土壤有機物，提高土壤肥力，應是最自然且可行之農田利用方式。

結　論

一、 於送風量0.025 vvm及自然接種之條件下，三十天內可將豬糞渣製成腐熟無臭味之有機肥。

二、 以豬糞渣混合紙漿污泥醱酵，可縮短污泥腐熟時間，且製成之有機肥，肥料成份優於純污泥堆肥。

三、 純蔗渣於模擬送風堆肥房內，經8～12個月之送風醱酵，可製成腐熟之堆肥。但加入酒精廢醪，濾泥及豬糞渣等於蔗渣中，可縮短其腐熟時間爲4～5個月。

四、 蔗渣田間堆肥化爲目前消納糖廠剩餘蔗渣的最佳方法，即將糖廠生產之散裝蔗渣，不經壓塊，立即運送至休閒蔗田，添加濾泥，酒精廢醪或豬糞渣等， 犁入土壤後，種植綠肥，如此於一年內，蔗渣即可腐熟爲有機肥。

參考文獻

1. 林財旺 1989 送風管式豬糞堆肥製作。台灣省畜產試驗所推行養豬現代化經營示範計劃 1-7。

2. 袁嗣良、趙桂潮 1940 蔗渣堆肥之研究。台灣糖業試驗所研究彙報 6:207-225。

3. 黃啓民、李松伍、陳文崇 1991 豬糞堆肥化研究之新方法。 中華生質能源學會論文專輯 p. 77-90。

4. Epstein, E., G. B. Willson, W. D. Burge, D. C. Mullen, and N. K. Enkibi. 1976. A forced aeration system for composting wastewater sludge. J. Water Pollut. Control Fed. 48:688-694.

5. Haga, K. 1990. Production of compost from organic wastes. Food and Fertilizer Technology Center for the ASPAC Region. Taipei on Taiwan. Extension Bulletin No. 311.

6. Sulfer, D. J., and M. S. Finstein 1977. Effect of temperature, aeration and moisture on CO2 formation in Bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. Appl. Environ. Microbiol. 33: 345-350.

表一、豬糞固形物醱酵處理前後之組成份分析

項　　目	未醱酵前豬糞渣	經送風醱酵後豬糞堆肥	傳統醱酵之豬糞堆肥
pH (1:5)	5.6	6.9	6.1
含水量(%)	66	70	72
有機質(%)	95	86	88
有機碳(%)	43	39	40
全　氮(%)	2.3	3.2	2.8
磷　酐(%)	0.8	3.1	2.7
氧化鉀(%)	0.2	0.4	0.3
氧化鈣(%)	1.2	3.4	3.6
氧化鎂(%)	0.3	0.8	1.1
鋅 (ppm)	128	454	371
銅 (ppm)	73	217	235
鎘 (ppm)	0	0	0
鉻 (ppm)	0	1.2	1.7
鎳 (ppm)	6.3	9.1	7.3
鉛 (ppm)	4.6	6.2	5.6
砷 (ppm)	0	0	0
碳/氮	19	12	14

表二、豬糞渣混合紙漿污泥之好氣醱酵

處理代號	容積混合比		溫度（℃）					體積減少
	污泥	糞渣	1週	2週	3週	4週	5週	（% ）
A	1	0	27	28	24	20	24	13
B	2	1	43	51	33	25	28	20
C	1	2	67	58	51	41	35	33
D	0	1	68	65	64	49	25	42

表三、豬糞渣污泥有機肥之化學組成

項　　目	污泥有機肥		糞渣污泥有機肥	
	堆積前	腐熟後	堆積前	腐熟後
pH　（1:5）	7.38	7.43	7.18	6.83
含水量（%）	78.00	66.00	74.00	54.00
有機質（%）	62.50	38.40	78.50	49.80
有機碳（%）	36.70	19.20	45.30	29.20
全　氮（%）	0.94	0.90	1.46	2.30
磷　酐（%）	0.52	0.54	0.78	1.14
氧化鉀（%）	0.36	0.91	0.52	1.06
鋅（ppm）	41.00	44.00	95.00	106.00
銅（ppm）	16.00	28.00	87.00	98.00
鎘（ppm）	1.10	0.91	0.87	1.12
鉻（ppm）	25.00	22.00	16.00	24.00
鉛（ppm）	22.00	19.00	20.00	29.00
C/N	39.00	21.00	31	13

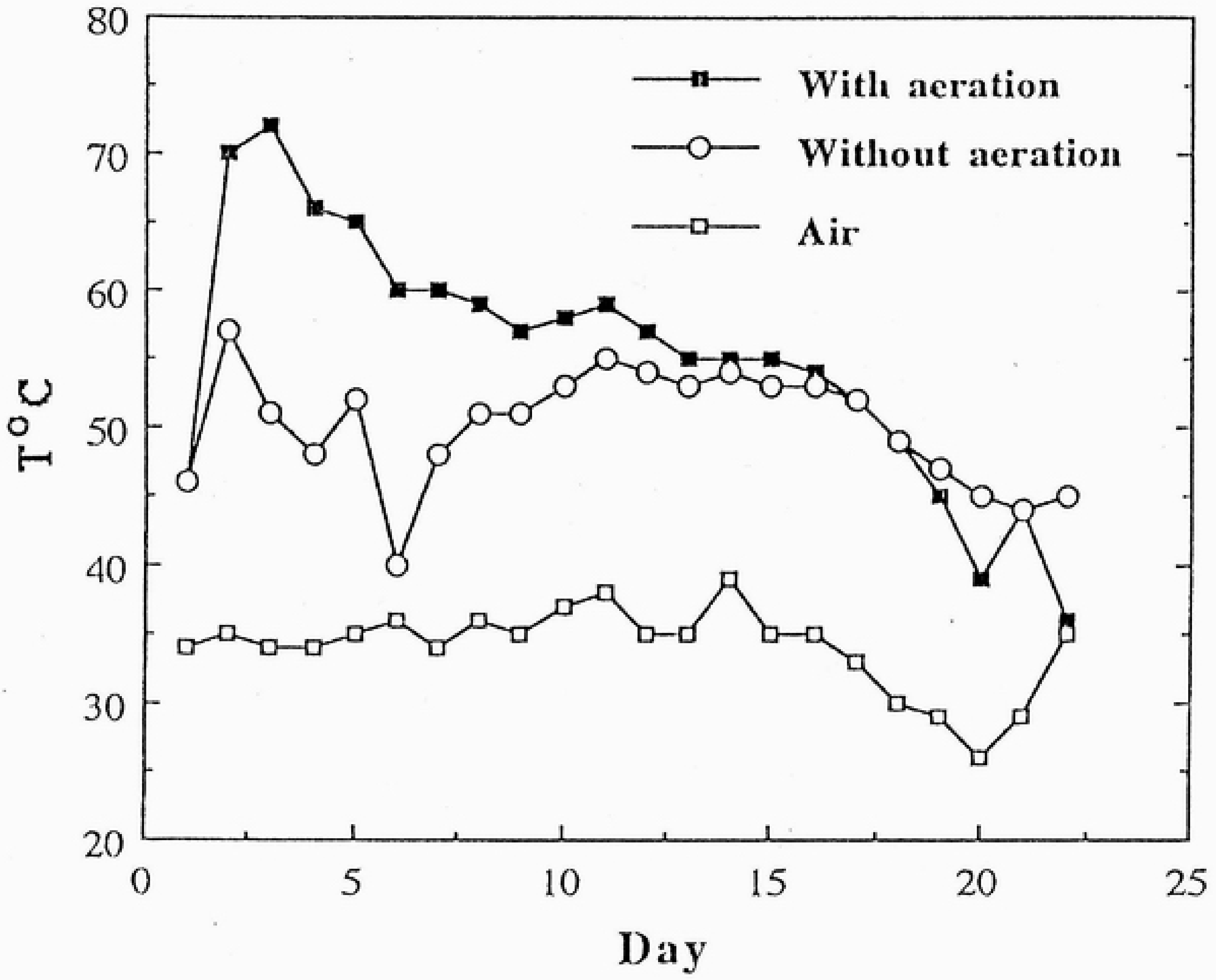
表四、不同堆肥介質對育苗生育之影響

處理	木瓜（公分）*			絲瓜（公分）*		
	高度	葉長	葉寬	高度	葉長	葉寬
A.純糞渣堆肥	3.13	1.73	0.99	23.0	5.6	7.2
B.污泥混糞渣堆肥	5.63	3.98	2.93	30.1	5.9	8.2
C.純污泥堆肥	4.04	2.31	1.37	6.5	3.9	4.4
L.S.D. 5%	1.08	1.31	1.29	9.0	0.8	1.0
1%	1.64	1.99	1.96	12.6	1.1	1.4

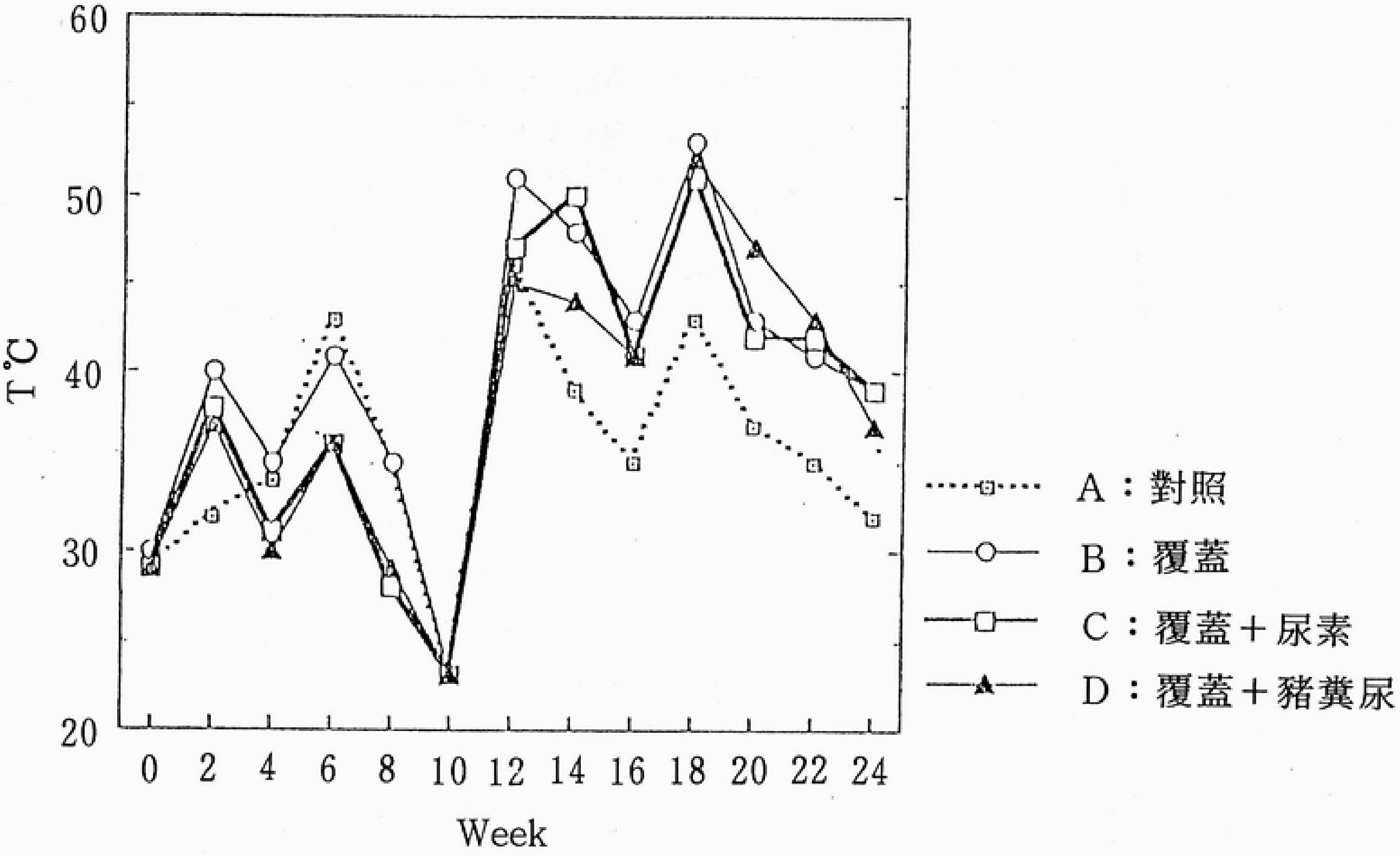
* 木瓜及絲瓜苗生長期四週時調查

表五、蔗渣堆肥化前後化學組成之變化

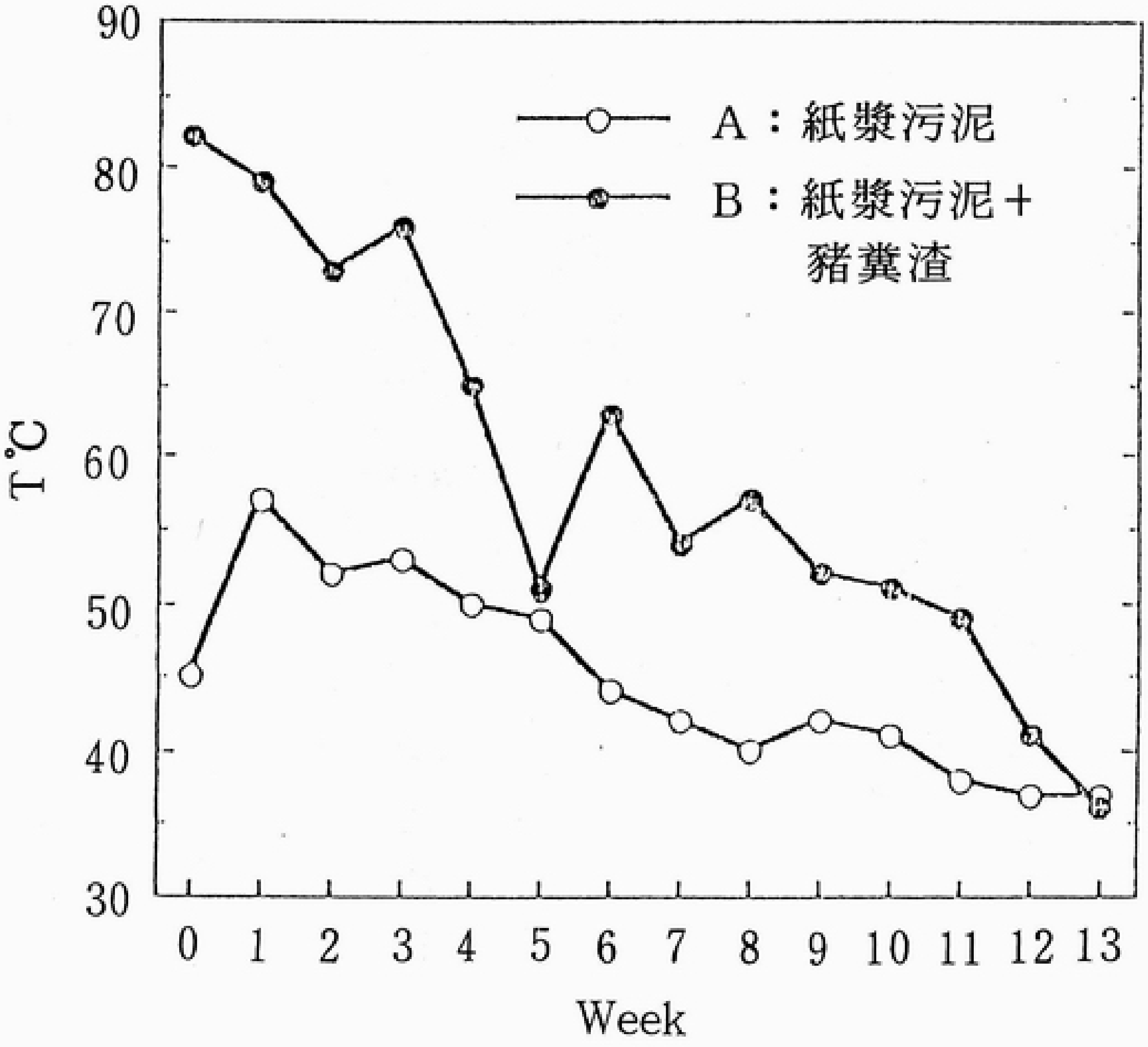
成　　份	堆肥化前	堆肥化後
含水量（%）	42	67
有機質（%）	91	58
有機碳（%）	41	26
全　氮（%）	0.39	1.22
磷　酐（%）	0.09	0.25
氧化鉀（%）	0.25	0.49
鋅（ppm）	29	226
銅（ppm）	9	36
鎘（ppm）	N.D.	N.D.
C/N	105	21



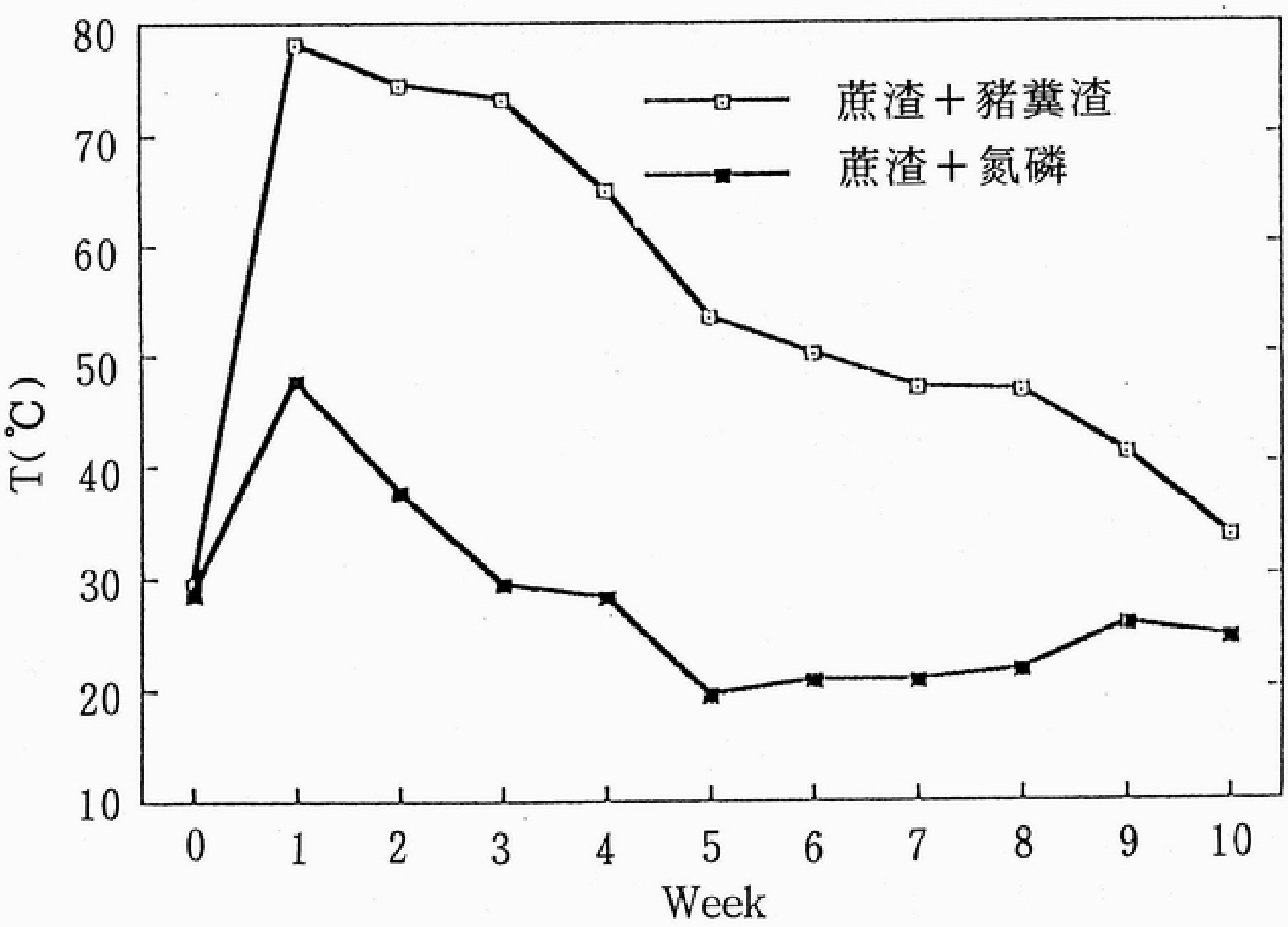
圖一、送風對豬糞渣醱酵之影響



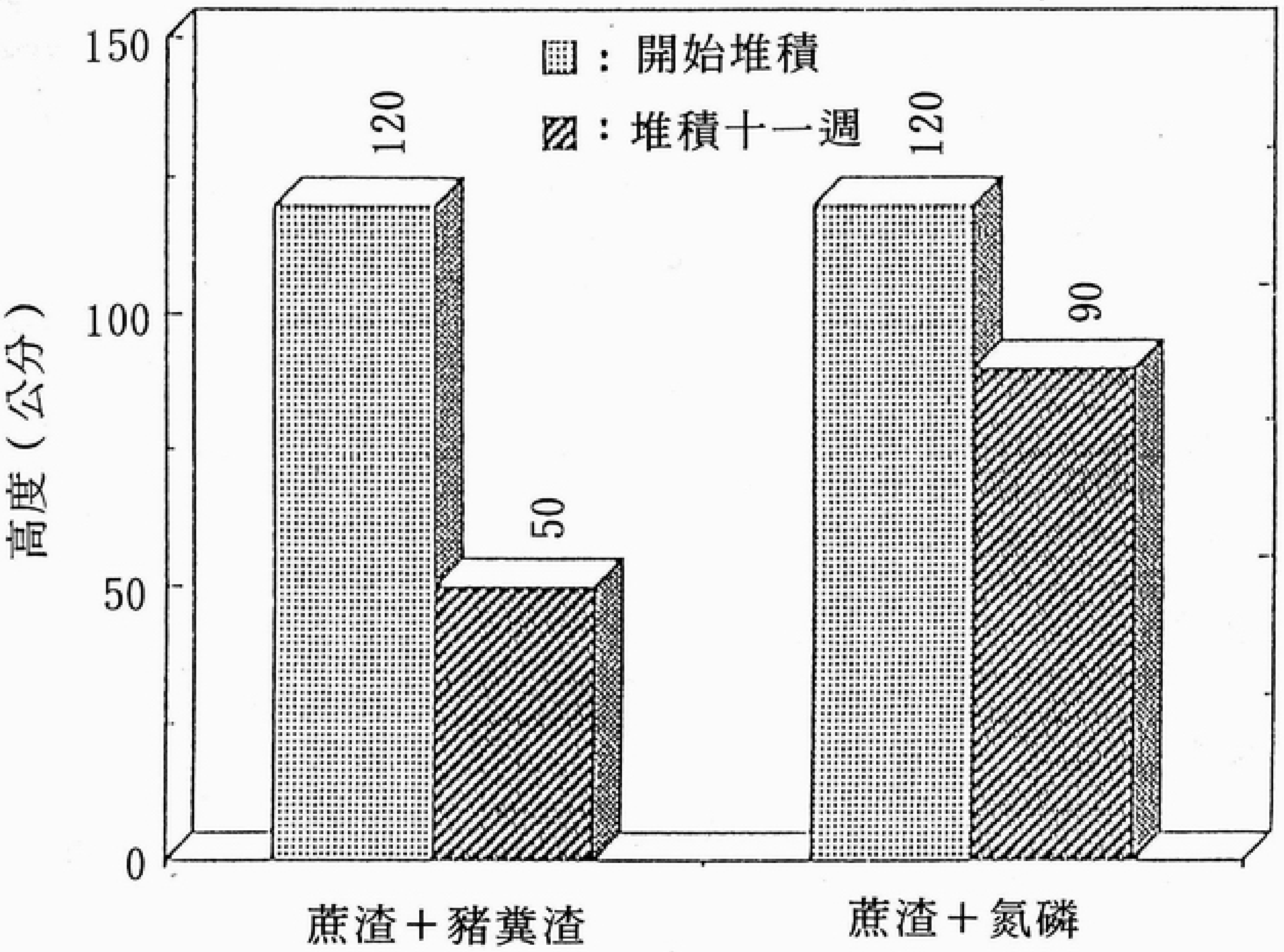
圖二、紙漿污泥之傳統堆積醱酵



圖三、添加豬糞渣對紙漿污泥送風醱酵之影響



圖四、蔗渣大型送風堆肥化溫度之變化



圖五、蔗渣堆肥化時堆積材料高度之變化

Rapid Composting of Bagasse

C. M. Huang, W. C. Chen, S. J. Chang, S. W. Li and L. H. Wang
Taiwan Sugar Research Institute

Abstract

It usually takes more than one year to complete bagasse composting by the piling methed due to the high content of cellulose and lignin in the sugarcane stalk. The composting period of bagasse was cut down to 8-12months by a forced-aeration system. The best ratio of air to bagasse was found to be 0.025 vvm on a volumetric basis. No offensive odors were released, and the peak temperature during composting was 45℃, which was 12℃ higher than that of air.

Composting is also hindered because fresh bagasse is rich in carbon but not in nitrogen. In order to further speed up the bagasse decomposition rate, substrates with a high nitrogen content such as soild pig waste or alcoholic slops were incorporated into the bagasse. bagasse was combned with soild pig waste or alcoholic slops at a 1 to 1 ratio. The mixed substrates maintained a temperature of 50℃ or higher for 6 weeks, and the temperature once reached 82℃ during fermentation in a 14 m3 composting house with a forced-aeration system. The volumetric loss was about 58% after composting for 11 weeks. Maturation of the compost of both bagasse-soild pig waste and bagasse-alcoholic slops occurred within only 4-5 months. However, the most economical way for sugar mills was the bagasse composting in the sugarcane field.

Key words：Bagasse, Composting